



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**OPTIMASI PENEMPATAN RECLOSER UNTUK
MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL BERBASIS *GEOGRAPHIC INFORMATION
SYSTEM (GIS)***

Radyan Pradipta Fanindya
NRP 07111440000148

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**OPTIMASI PENEMPATAN RECLOSER UNTUK
MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL BERBASIS *GEOGRAPHIC INFORMATION
SYSTEM (GIS)***

Radyan Pradipta Fanindya
NRP 07111440000148

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**OPTIMUM RECLOSER PLACEMENT TO IMPROVE
RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM'S RELIABILITY ON
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS)**

Radyan Pradipta Fanindya
NRP 07111440000148

Supervisors

Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan “**Optimasi Penempatan Recloser Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi Radial Berbasis *Geographic Information System (GIS)***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Radyan Pradipta Fanindya
NRP 07111440000148

---*Halaman ini sengaja dikosongkan*---

**OPTIMASI PENEMPATAN RECLOSER UNTUK
MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM
DISTRIBUSI RADIAL BERBASIS *GEOGRAPHIC*
INFORMATION SYSTEM (GIS)**

TUGAS AKHIR

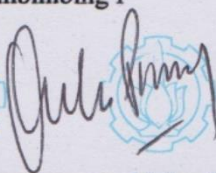
**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

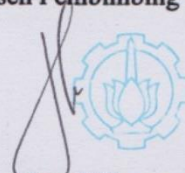
**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 194907151974121001

Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
NIP. 197411292000121001



---*Halaman ini sengaja dikosongkan*---

**OPTIMASI PENEMPATAN RECLOSER UNTUK
MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL BERBASIS *GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM*
(GIS)**

Nama Mahasiswa	: Radyan Pradipta Fanindya
NRP	: 07111440000148
Pembimbing I	: Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
NIP	: 194907151974121001
Pembimbing II	: Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
NIP	: 197411292000121001

Abstrak:

Sistem distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan. Hal ini mengakibatkan gangguan pada sistem distribusi akan berdampak langsung pada pelanggan. Sehingga keandalan dari suatu jaringan distribusi menjadi suatu hal yang cukup penting. Terdapat beberapa indeks yang menunjukkan keandalan dari suatu sistem distribusi tenaga listrik, dua diantaranya adalah System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) dan System Average Interruption Duration Index (SAIDI). Untuk meningkatkan nilai keandalan suatu sistem distribusi salah satunya adalah dengan memasang peralatan pengaman sistem distribusi. Salah satu peralatan pengaman yang sering digunakan dalam sistem distribusi adalah recloser. Untuk mendapatkan nilai SAIFI dan SAIDI paling minimum, maka dilakukan optimasi dalam menentukan lokasi recloser yang tepat dengan mempertimbangkan nilai indeks *reliability* peralatan dan jumlah pelanggan yang dilindungi. Maka dirancang sebuah program berbasis *Geographic Information System* (GIS) untuk melakukan optimasi penempatan recloser ini. GIS yang terhubung pada SCADA akan menyediakan data/informasi yang dibutuhkan dalam perhitungan. Dari hasil simulasi program yang dilakukan pada sistem distribusi radial Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang, didapatkan nilai SAIFI dan SAIDI berkurang seiring dengan optimasi yang dilakukan menggunakan jumlah recloser yang semakin banyak. Selain itu juga didapatkan letak geografis secara *real* dimana recloser seharusnya ditempatkan.

Kata kunci : GIS, keandalan sistem distribusi, recloser, SAIDI, SAIFI.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

OPTIMUM RECLOSER PLACEMENT TO IMPROVE RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM'S RELIABILITY ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS)

Student Name : Radian Pradipta Fanindya
NRP : 07111440000148
Supervisor I : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
NIP : 194907151974121001
Supervisor II : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
NIP : 197411292000121001

Abstract:

The distribution system is the power system which closest to the customer. It makes the failure of the distribution system will directly impact to customers. So the reliability of a distribution system becomes an important thing. There are several indices that show the reliability of a power distribution system, two of which are System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) and System Average Interruption Duration Index (SAIDI). There are many ways to improve the reliability value of a distribution system, one of them is by installing protection devices in a distribution system. One of the most commonly used protection device in a distribution system is the recloser. To obtain the minimum SAIFI and SAIDI values, an optimization is done in determining the exact recloser placement considering the reliability index value of the equipment and the number of protected customers. Therefore, a program designed based on Geographic Information System (GIS) to optimize the placement of recloser. The GIS connected to the SCADA will provide the data/information that required in the calculation. From the simulation of the program conducted on the radial distribution system of Basuki Rahmat, SAIFI and SAIDI values decreased along with the optimization performed using more number of recloser. There is also obtained a real geographical location where the recloser should be placed.

Keyword : GIS, recloser, reliability of power distribution system, SAIDI, SAIFI.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir dengan judul **“Optimasi Penempatan Recloser Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi Radial Berbasis *Geographic Information System* (GIS)”** ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Kedua orang tua penulis atas doa dan cinta yang tak henti pada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surga-Nya.
3. Bapak Prof. Ontoseno dan Bapak Rony Seto selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Teman-teman asisten dan member lab PSSL B103 yang telah menciptakan dan memberikan dukungan, penjelasan, dan juga suasana kondusif dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Mbak Indri, Mas Febri, Mas Indrawan, dan member GIS-GIS Club yang telah memberikan banyak bimbingan dan arahan sejak awal pengajuan tugas akhir ini hingga selesainya tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan e54 yang telah menemani dan memberikan dukungan kepada penulis hingga penyelesaian tugas akhir ini.
8. Teman-teman BEM FTI-ITS khususnya kabinet TORSI yang terus memberikan hiburan dan dukungan yang berarti selama pengerjaan tugas akhir ini.

9. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat untuk kedepannya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
PERNYATAAN KEASLIAN
HALAMAN PENGESAHAN

ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii

BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi.....	5
BAB 2 KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK	7
2.1. Sistem Tenaga Listrik di Indonesia.....	7
2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik [6]	8
2.3. Klasifikasi Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.3.1 Menurut Nilai Tegangannya	8
2.3.2 Menurut Bentuk Jaringan Saluran Distribusi Primernya	9
2.3.3 Menurut Bentuk Tegangannya.....	11
2.3.4 Menurut Jenis/Tipe Konduktornya	11
2.3.5 Menurut Konfigurasi Salurannya.....	12
2.4. Peralatan Utama Dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	13
2.4.1 Transformator Distribusi	13
2.4.2 Saluran Udara	14
2.4.3 Saluran Bawah Tanah	14
2.4.4 Circuit Breaker	14
2.4.5 Fuse.....	15
2.4.6 Recloser [2].....	16
2.5. Gangguan Dalam Sistem Distribusi	16
2.5.1 Gangguan Permanen.....	17
2.5.2 Gangguan Sementara/Temporer	17

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik	7
Gambar 2.2	Ilustrasi Sistem Jaringan Radial.....	9
Gambar 2.3	Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Tie-Line	9
Gambar 2.4	Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Loop	10
Gambar 2.5	Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Spindel	10
Gambar 2.6	Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Kluster.....	11
Gambar 2.7	(a) Tiang Listrik Saluran Konfigurasi Horizontal; (b) Tiang Listrik Saluran Konfigurasi Vertikal	12
Gambar 2.8	Tiang Listrik Saluran Konfigurasi Delta	13
Gambar 2.9	Trafo Distribusi	13
Gambar 2.10	Vacuum Circuit Breaker	14
Gambar 2.11	Distribution Fuse Cutouts.....	15
Gambar 2.12	Recloser Pada Jaringan Distribusi	16
Gambar 2.13	Ilustrasi komposisi himpunan U_i dan C_j^i	20
Gambar 2.14	Tampilan GIS Smallworld 12.3 General Electric PT. PLN	22
Gambar 3.1	Single Line Diagram Penyulang Basuki Rahmat.....	23
Gambar 3.2	Flowchart Perancangan Program	25
Gambar 4.1	Grafik SAIFI sebelum dan sesudah optimasi	40
Gambar 4.2	Grafik SAIDI sebelum dan sesudah optimasi	40

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Indeks Keandalan Peralatan Pada Sistem Distribusi	27
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Data Beban.....	32
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Data Beban (lanjutan)	33
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Data Beban (lanjutan)	34
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Data Saluran.....	34
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Data Saluran (lanjutan)	35
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Data Saluran.....	36
Tabel 4.7	Hasil Optimasi Penempatan 1 Recloser.....	37
Tabel 4.8	Hasil Optimasi Penempatan 2 Recloser.....	38
Tabel 4.9	Hasil Optimasi Penempatan 3 Recloser.....	38
Tabel 4.10	Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum dan Sesudah Optimasi	39

---*Halaman ini sengaja dikosongkan*---

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan. Di sisi lain, sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling sering mengalami gangguan daripada bagian sistem tenaga listrik yang lain. Dua hal tersebut menyebabkan pelanggan yang secara langsung terhubung dengan sistem distribusi akan merasakan imbas dari gangguan-gangguan yang kerap kali terjadi dalam sistem distribusi. Keandalan dari suatu jaringan distribusi menjadi suatu hal yang cukup penting dalam sistem tenaga listrik. Bagaimana listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dapat menyuplai pelanggan dengan kontinyu dan merata menjadi salah satu elemen penting dalam keandalan suatu jaringan distribusi. Terdapat beberapa indeks yang menunjukkan keandalan dari suatu sistem distribusi tenaga listrik, dua diantaranya adalah System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) dan System Average Interruption Duration Index (SAIDI). SAIFI menunjukkan seberapa sering gangguan yang terjadi di tiap pelanggan dalam waktu setahun, sedangkan SAIDI menunjukkan rata-rata waktu gangguan tiap pelanggan [1].

Untuk meningkatkan nilai keandalan suatu sistem maka salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan memasang peralatan pengaman sistem distribusi. Tujuan utama dari pemasangan peralatan pengaman ini adalah untuk mengurangi durasi gangguan dan mengurangi jumlah pelanggan yang terkena dampak gangguan [2]. Terdapat 3 peralatan yang sering digunakan dalam sistem pengaman jaringan distribusi, yaitu recloser, sectionalizer, dan fuse. Salah satu peralatan yang sering digunakan adalah recloser, recloser akan open ketika terjadi gangguan dan akan open secara otomatis setelah beberapa detik untuk re-energize jaringan. Biasanya recloser akan melakukan operasi open-close hingga 3 kali [2].

Selama ini pemasangan recloser hanya berdasarkan jarak aman dengan peralatan pengaman lain tanpa mempertimbangkan jumlah pelanggan yang dilindunginya. Oleh karena itu perlu dicari cara penentuan lokasi recloser yang optimal untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi. Kemudian optimasi recloser ini diimplementasikan dalam sistem distribusi radial 20 kV Kota Surabaya yang berbasis

Geographic Information System (GIS). Dengan menggunakan input data melalui GIS dan SCADA yang akan menyediakan data/informasi yang dibutuhkan dalam perhitungan nantinya.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya maka didapatkan perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menentukan penempatan recloser yang optimal sehingga keandalan sistem distribusi meningkat?
2. Bagaimana cara menerapkan optimasi penempatan recloser ini dalam sistem distribusi radial 20kV Kota Surabaya yang berbasis *Geographic Information System (GIS)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk

1. Mengetahui lokasi penempatan recloser yang optimal beserta nilai indeks keandalannya sehingga keandalan sistem distribusi meningkat
2. Mendapatkan hasil penerapan optimasi penempatan recloser ini dalam sistem distribusi radial 20kV Kota Surabaya yang berbasis *Geographic Information System (GIS)*

1.4 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, terdapat beberapa batasan permasalahan, diantaranya :

1. Optimasi dilakukan untuk perencanaan pemasangan recloser saja, tidak untuk pemasangan fuse, sectionalizer, atau peralatan pengamanan lainnya
2. Indeks keandalan peralatan yang menjadi pertimbangan dalam perhitungan SAIFI dan SAIDI adalah indeks keandalan trafo distribusi, recloser, saluran udara tingkat menengah, dan saluran kabel tingkat menengah
3. Perangkat lunak GIS yang digunakan adalah Smallworld 12.3 General Electric PT. PLN (Persero)

1.5 Metodologi

1. Studi Literatur

Studi Literatur yang dilakukan dalam penelitian ini bersumber dari artikel ilmiah, jurnal, dan *text book*. Studi ini berfokus pada literatur mengenai metode yang digunakan untuk melakukan optimasi penempatan recloser baik dengan menggunakan artificial intelligent maupun dengan perhitungan analitis, fungsi dan prinsip kerja recloser, pemodelan sistem jaringan radial, dan cara

- perancangan aplikasi tambahan dalam *Geographic Information System (GIS)*
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data sistem distribusi radial 20 kV Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang berupa data beban dan data saluran dari penyulang ini. Kemudian juga mengumpulkan data standar nilai indeks keandalan tiap peralatan dalam sistem distribusi berdasarkan SPLN No. 59 Tahun 1985.
 3. Pemodelan dan Pemrograman Sistem pada MATLAB
Pemodelan sistem distribusi dilakukan pada tahap ini agar dapat diterapkan perhitungan optimasi penempatan recloser untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi. Selain itu dalam tahap ini juga dilakukan pemrograman untuk menentukan lokasi recloser yang optimal dalam MATLAB.
 4. Simulasi Program MATLAB dan Pemrograman Ulang Sistem pada GNU Emacs Berbasis GIS
Simulasi program pada MATLAB dilakukan untuk memvalidasi bahwa program yang ditulis telah sesuai dan mendapatkan hasil yang valid. Hasil nilai SAIFI dan SAIDI simulasi program pada MATLAB akan dibandingkan dengan hasil nilai SAIFI dan SAIDI simulasi perhitungan manual menggunakan excel pada kondisi letak recloser yang sama. Jika hasil simulasi telah valid maka dilakukan pemrograman ulang pada GNU Emacs 23.3 Smallworld 12.3 berbasis *Geographic Information System (GIS)*
 5. Analisa Data Hasil Simulasi
Pada tahap ini dilakukan analisa hasil simulasi penempatan recloser yang optimal. Analisa dilakukan dengan membandingkan indeks keandalan sesudah dan sebelum dilakukan optimasi. Selain itu dilakukan juga analisa membandingkan indeks keandalan yang paling optimal dengan jumlah recloser yang berbeda-beda pada sistem distribusi tenaga listrik Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang.
 6. Penyusunan Laporan
Penyusunan laporan dari hasil penelitian membahas tentang latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, landasan teori yang digunakan sebagai referensi, metode yang digunakan, hasil analisa lokasi penempatan recloser terhadap keandalan sistem distribusi, serta kesimpulan dan saran dari hasil penelitian ini. Adanya

laporan ini diharapkan dapat berguna sebagai referensi untuk pengembangan penilitian-penelitian berikutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penyusunan laporan akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan latar belakang dilakukan penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan laporan, dan relevansi penelitian tugas akhir.

BAB 2 KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Pada bab ini dijelaskan dasar teori yang mendukung penelitian ini mulai dari apa itu sistem tenaga listrik, sistem distribusi tenaga listrik beserta klasifikasi, peralatan utama, dan gangguan dalam sistem disribusi. Kemudian dijelaskan pula mengenai keandalan sistem distribusi beserta indeks keandalannya, pemodelan jaringan sistem distribusi radial, metode, dan penjelasan mengenai *Geographic Information System* (GIS).

BAB 3 PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Pada bab ini dijelaskan mengenai single line diagram sistem Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang yang digunakan dalam penelitian ini beserta tahapan dalam memodelkan sistem distribusi tersebut dan diagram alir perancangan program optimasi penempatan recloser yang digunakan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik Penyulang Basuki Rahmat.

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA DATA

Pada bab ini dipaparkan hasil simulasi dan penjelasan mengenai analisa hasil optimasi lokasi recloser yang paling optimal dibandingkan sebelum dilakukan optimasi, serta pengaruh jumlah recloser yang dipasang terhadap nilai indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan dari hasil penelitian tugas akhir ini, serta saran untuk pengembangan penelitian berikutnya.

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

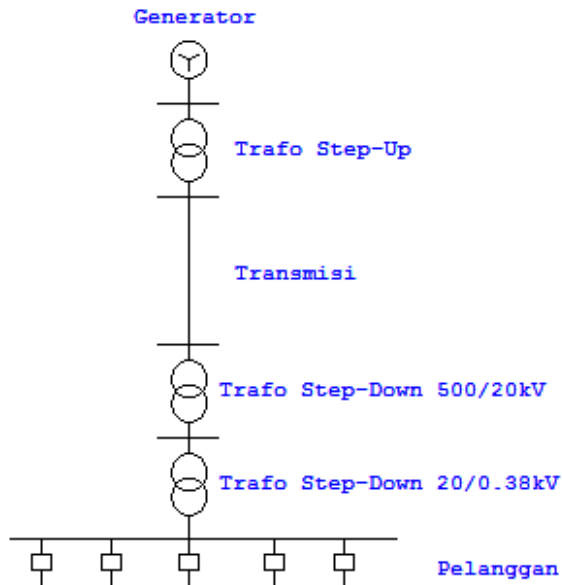
1. Menjadi pertimbangan dalam menentukan penempatan recloser dalam setiap feeder untuk meningkatkan keandalan dengan nilai SAIFI dan SAIDI yang minimum.
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik *optimum recloser placement* atau keandalan sistem distribusi.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 2

KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

2.1. Sistem Tenaga Listrik di Indonesia



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik di Indonesia terdiri dari tiga bagian utama antara lain yaitu :

1. Sistem Pembangkit,
2. Sistem Transmisi, dan
3. Sistem Distribusi.

Ketiga bagian utama ini memiliki peran penting dalam penyaluran tenaga listrik dari mulai listrik dibangkitkan hingga sampai ke pelanggan. Diperlukan berbagai penanganan teknis seperti pelayanan daya, pemeliharaan dan perawatan peralatan agar listrik dapat tersalurkan dengan baik.

Pada umumnya tenaga listrik dibangkitkan pada pusat-pusat pembangkitan, setelah dibangkitkan tegangan dinaikkan oleh

transformator step-up yang ada di pusat pembangkitan, kemudian disalurkan melalui sistem transmisi menuju Gardu Induk (GI). Pada GI terdapat transformator step-down untuk menurunkan tegangan menjadi tegangan distribusi primer yang pada umumnya sebesar 20 kV. Pelanggan-pelangga dengan kebutuhan daya yang besar seperti industry/pabrik tesambung langsung dengan sistem distribusi primer ini, namun pelanggan dengan kebutuhan daya yang lebih kecil seperti pelanggan residensial mendapatkan listrik setelah tegangan diturunkan pada transformator step-down.

2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik [6]

Sistem distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan. Sistem distribusi inilah yang menyalurkan energi listrik langsung kepada pelanggan. Disisi lain, sistem distribusi ini adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang paling sering mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam menangani sistem distribusi adalah mengatasi gangguan ini. Sistem distribusi terdiri dari jaringan distribusi primer atau biasa dikenal dengan Jaringan Tengah Menengah (JTM) dan jaringan distribusi sekunder atau biasa dikenal dengan Jaringan Tengah Rendah (JTR). Jaringan Tengah Menengah pada umumnya bekerja pada tegangan 20 kV, sedangkan Jaringan Tengah Rendah bekerja pada tegangan 380/220 Volt yang langsung terhubung dengan pelanggan dengan kebutuhan daya rendah seperti pelanggan residensial. Pelanggan dengan kebutuhan daya besar seperti industry/pabrik tingkat menengah akan terhubung dengan Jaringan Tengah Menengah pada tegangan 20kV, sedangkan pelanggan dengan daya lebih dari 300 MVA seperti industry/pabrik besar akan dihubungkan pada jaringan transmisi yang umumnya bekerja pada tegangan 150 kV.

2.3. Klasifikasi Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.3.1 Menurut Nilai Tegangannya

2.3.1.1 Saluran Distribusi Primer

Saluran distribusi primer ini terletak pada sisi primer transformator distribusi, atau lebih tepatnya diantara sisi sekunder transformator GI dan sisi primer transformator distribusi. Tegangan pada saluran ini pada umumnya sebesar 20 kV, namun ada juga yang memiliki tegangan 70 kV atau 150 kV.

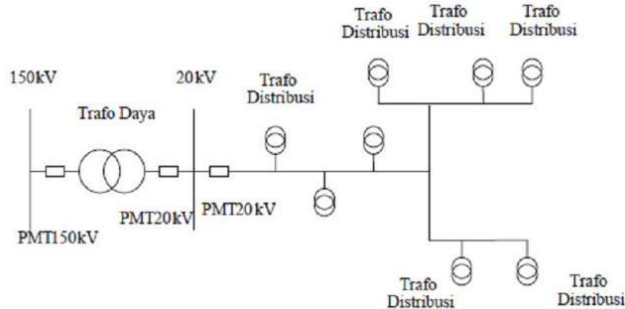
2.3.1.2 Saluran Distribusi Sekunder

Saluran distribusi sekunder ini terletak pada sisi sekunder transformator distribusi yang terhubung langsung dengan

beban/pelanggan. Tegangan pada saluran ini pada umumnya merupakan tegangan rendah 220 V.

2.3.2 Menurut Bentuk Jaringan Saluran Distribusi Primernya

2.3.2.1 Sistem Jaringan Radial

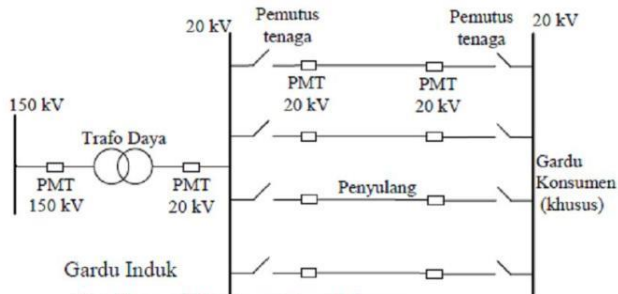


Gambar 2.2 Ilustrasi Sistem Jaringan Radial

Sistem jaringan radial merupakan sistem yang paling sederhana dan ekonomis. Dalam sistem jaringan radial, penyulang akan menyuplai beberapa trafo distribusi secara radial seperti gambar diatas.

Gardu distribusi merupakan tempat dimana trafo untuk pelanggan dipasang. Kelemahan sistem ini adalah keandalan sistem lebih rendah dibandingkan dengan sistem lainnya. Hal ini diakibatkan hanya ada satu jalur utama dari penyulang menuju gardu distribusi, sehingga ketika terjadi gangguan pada jalur utama maka seluruh gardu yang terhubung pada saluran tersebut akan ikut padam. Selain itu kualitas tegangan pada gardu distribusi paling ujung tidak terlalu baik, hal ini diakibatkan drop tegangan terbesar terletak pada gardu distribusi paling ujung.

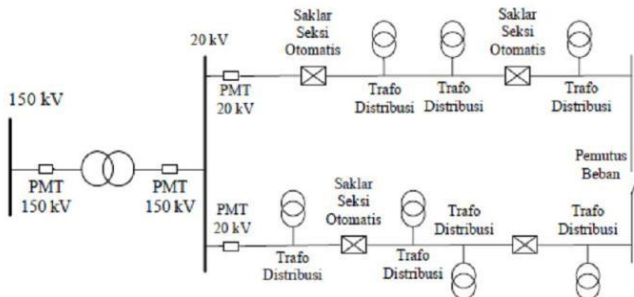
2.3.2.2 Sistem Jaringan Hantaran Penghubung (Tie-Line)



Gambar 2.3 Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Tie-Line

Sistem jaringan tie-line ini digunakan untuk pelanggan yang tidak boleh padam seperti bandara, rumah sakit, dll. Sistem ini memiliki minimal dua penyulang dengan tambahan Automatic Transfer Switch. Setiap penyulang terhubung dengan pelanggan khusus tersebut sehingga ketika salah satu penyulang mengalami gangguan maka masih mendapat backup dari penyulang yang lain.

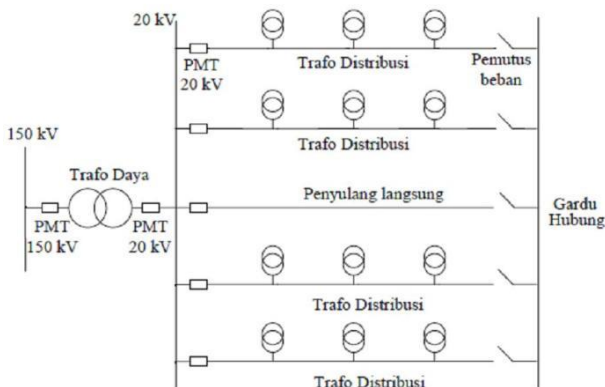
2.3.2.3 Sistem Jaringan Loop



Gambar 2.4 Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Loop

Sistem jaringan loop ini memungkinkan untuk disuplai dari beberapa gardu induk, sehingga ketika terjadi gangguan pada saluran, pelanggan masih dapat tersuplai dari gardu induk yang lain. Berikut merupakan gambaran sederhana sistem jaringan loop :

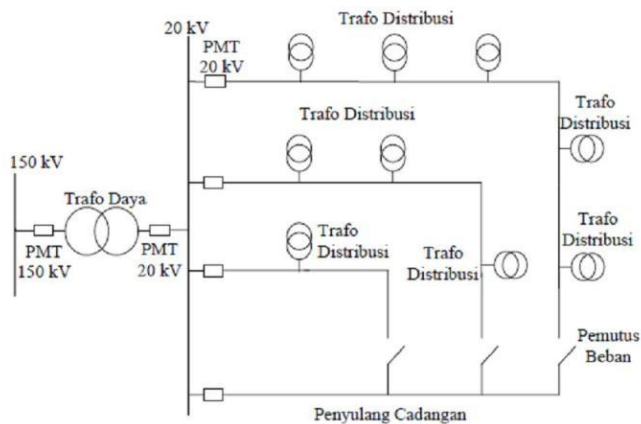
2.3.2.4 Sistem Jaringan Spindel



Gambar 2.5 Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Spindel

Sistem jaringan spindel ini merupakan suatu pola gabungan dari pola radial dan loop. Sistem jaringan spindel terdiri atas beberapa penyulang disuplai dari gardu induk dan berakhir pada sebuah gardu hubung. Namun pada pengoperasiannya sistem jaringan spindel ini bekerja sebagai sistem radial. Sistem jaringan dengan pola ini memiliki lebih dari satu penyulang aktif dan satu penyulang cadangan yang terhubung melalui gardu hubung.

2.3.2.5 Sistem Jaringan Kluster



Gambar 2.6 Ilustrasi Sistem Tenaga Jaringan Kluster

Sistem jaringan kluster ini cukup banyak digunakan di kota-kota besar yang memiliki kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat saklar pemutus beban dan penyulang cadangan, dimana penyulang ini berfungsi menyuplai konsumen apabila terjadi gangguan pada salah satu penyulang utama konsumen.

2.3.3 Menurut Bentuk Tegangannya

2.3.3.1 Saluran Distribusi DC

Saluran distribusi ini menggunakan sistem tegangan searah.

2.3.3.2 Saluran Distribusi AC

Saluran distribusi ini menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

2.3.4 Menurut Jenis/Tipe Konduktornya

2.3.4.1 Saluran Udara

Saluran ini dipasang pada udara terbuka dengan bantuan tiang menggunakan kawat atau kabel (dibungkus dengan isolator).

2.3.4.2 Saluran Bawah Tanah

Saluran ini dipasang dibawah tanah menggunakan kabel tanah (ground cable).

2.3.4.3 Saluran Bawah Laut

Saluran ini dipasang dibawah laut menggunakan kabel laut (submarine cable).

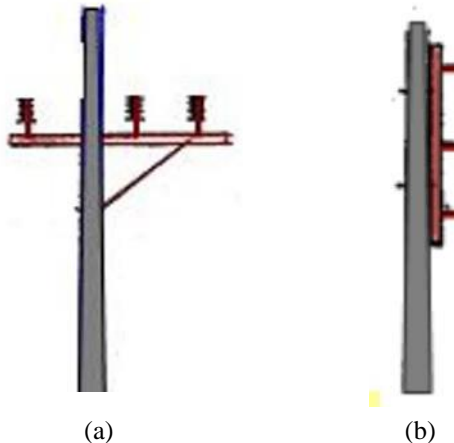
2.3.5 Menurut Konfigurasi Salurannya

2.3.5.1 Saluran Konfigurasi Horizontal

Apabila saluran antar fasa/netral atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horizontal.

2.3.5.2 Saluran Konfigurasi Vertikal

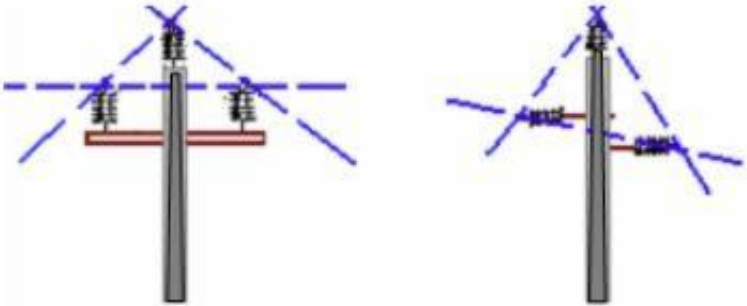
Apabila saluran antar fasa/netral atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis vertikal.



Gambar 2.7 (a) Tiang Listrik Saluran Konfigurasi Horizontal; (b) Tiang Listrik Saluran Konfigurasi Vertikal

2.3.5.3 Saluran Konfigurasi Delta

Apabila saluran antar fasa/netral atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk segitiga/delta.



Gambar 2.8 Tiang Listrik Saluran Konfigurasi Delta

2.4. Peralatan Utama Dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Terdapat beberapa peralatan utama dalam sistem distribusi tenaga listrik yang bekerja saling koordinasi satu sama lain. Berikut merupakan peralatan tersebut :

2.4.1 Transformator Distribusi



Gambar 2.9 Trafo Distribusi

Transformator/trafo distribusi berfungsi untuk mengubah level tegangan dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, pada umumnya trafo yang digunakan adalah trafo step-down 20/0.38 kV. Sehingga dengan tegangan yang lebih rendah tersebut dapat langsung didistribusikan menuju pelanggan dengan kebutuhan daya yang relative rendah seperti pelanggan residensial. Trafo distribusi dengan unit rating di bawah 50 kVA memiliki impedansi kurang dari 2%. Sedangkan trafo bawah tanah dengan unit rating sebesar 750-2500 kVA umumnya

memiliki impedansi sebesar 5.75%. Trafo dengan impedansi rendah dapat mengakibatkan drop tegangan yang lebih rendah pula, yang selanjutnya juga akan berdampak pada sisi primer trafo.

2.4.2 Saluran Udara

Saluran udara merupakan salah satu jenis penyaluran dalam sistem distribusi tenaga listrik dimana penghantarnya ditempatkan di suatu ketinggian tertentu di udara terbuka tanpa pelindung dengan bantuan tiang sebagai peralatan penunjang. Penghantar saluran udara terbuka tanpa pelindung berinteraksi secara langsung terhadap lingkungan termasuk perubahan cuaca di sekitarnya. Konduktor yang digunakan saluran udara pada umumnya adalah jenis ACSR (*Aluminum Conductor Steel Reinforced*), namun karena harga baja yang relative mahal sehingga saat ini sering digunakan pula konduktor jenis AAACC (*All Aluminum Alloy Conductor*). Kapasitas hantar konduktor pada saluran udara berbanding lurus dengan luas penampangnya.

2.4.3 Saluran Bawah Tanah

Saluran bawah tanah merupakan salah satu jenis penyaluran dalam sistem distribusi tenaga listrik dimana penghantarnya ditempatkan di dalam tanah memanfaatkan kabel bawah tanah (*underground cable*) yang konduktornya dilindungi oleh isolasi yang dirancang khusus sesuai kondisi lingkungannya sehingga aman bagi daerah di sekitar saluran tersebut. Pemasangan saluran kabel ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa saluran udara tidak memungkinkan untuk dipasang pada daerah tersebut. Hal ini dikarenakan harga saluran kabel yang lebih mahal dibandingkan saluran udara dan biaya pemasangan yang lebih mahal pula.

2.4.4 Circuit Breaker



Gambar 2.10 Vacuum Circuit Breaker

Circuit breaker (CB) adalah sebuah peralatan yang berfungsi sebagai pemutus dalam sistem rangkaian listrik, baik saat terjadi gangguan maupun saat dalam keadaan normal. Vacuum circuit breaker (CB) merupakan salah satu jenis CB 3 fasa yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik. Tugas utama CB ini antara lain :

- a. Sebagai pemutus dan menghubungkan kembali sistem saat terjadi gangguan pada sistem dimana CB ini akan beroperasi secara otomatis saat gangguan tersebut.
- b. Sebagai pemutus dan menghubungkan kembali sistem saat dilakukan pemeliharaan yang dioperasikan secara manual.

CB akan berkoordinasi dengan relay pengaman dimana relay ini akan bekerja sebagai peralatan yang mengontrol CB kapan harus memutus sistem saat terjadi gangguan yang terjadi pada sistem jaringan, sehingga CB dapat beroperasi secara otomatis tanpa bantuan manusia. Kumparan pemutus CB akan bekerja untuk membuka rangkaian saat menerima sinyal trip dari relay, dimana sinyal trip ini dikirim saat terjadi gangguan tertentu sesuai setting relay.

2.4.5 Fuse



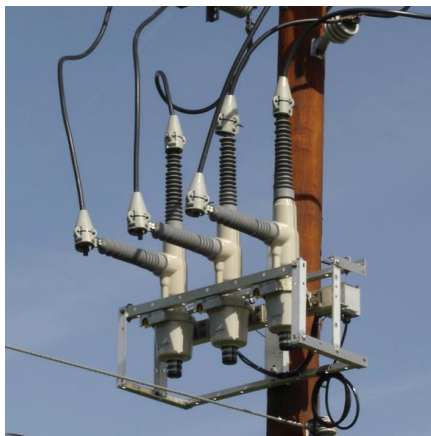
Gambar 2.11 Distribution Fuse Cutouts

Fuse merupakan peralatan pemutus rangkaian listrik yang sangat sederhana dibandingkan peralatan pemutus lainnya. Saat terjadi gangguan pada sistem, maka fuse akan mendeteksi arus mengalir lebih dari rating arus dari fuse, kemudian fuse link yang merupakan salah satu bagian utama dari fuse akan memanaskan akibat arus lebih tersebut dan kemudian akan melebur dan mengakibatkan open circuit. Perbedaan utama fuse dengan CB adalah fuse tidak memiliki kemampuan untuk menutup otomatis saat gangguan hilang, fuse link yang telah melebur tadi harus

diganti dengan fuse link yang baru. Fuse link biasanya terbuat dari perak atau timah dengan spesifikasi sesuai dengan kebutuhan karakteristik arus rating yang dibutuhkan fuse. Distribution fuse cutouts merupakan fuse yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi karena dapat bekerja pada tegangan kurang dari 35 kV.

2.4.6 Recloser [2]

Recloser merupakan sebuah peralatan pengaman dalam sistem distribusi tenaga listrik yang memiliki kemampuan untuk memutus jaringan saat terjadi gangguan overcurrent antar fasa dan overcurrent fasa ke ground. Recloser akan open dan memutus jaringan ketika terjadi gangguan dan akan close atau kembali menghubungkan jaringan secara otomatis setelah beberapa detik untuk re-energize jaringan, jika gangguan masih terdeteksi, recloser akan kembali trip memutus jaringan. Biasanya recloser akan melakukan operasi open-close hingga 3 kali, jika pada sistem masih terdeteksi gangguan maka recloser akan menyimpulkan yang terjadi merupakan gangguan permanen dan recloser akan open (lock-out) [2].



Gambar 2.12 Recloser Pada Jaringan Distribusi

2.5. Gangguan Dalam Sistem Distribusi

Terputusnya suplai tenaga listrik dirasakan oleh para pelanggan sebagai suatu hal yang sangat merugikan karena dapat mengganggu kegiatan ataupun kenyamanannya, bahkan bagi pelanggan yang menjalankan bisnis/usaha, terputusnya suplai tenaga listrik dapat mempengaruhi pendapatan yang diperoleh, atau bahkan dapat merugikan secara ekonomi bisnis/usahanya. Selain itu, terdapat beberapa dampak

yang dapat terjadi akibat adanya gangguan pada suatu sistem distribusi sebagai berikut :

- a. Apabila gangguan itu menyebabkan terputusnya suatu sistem jaringan atau menyebabkan keluarnya satu unit pembangkit maka kontinuitas pelayanan daya kepada para pelanggan akan terganggu.
- b. Peralatan yang ada di sekitar lokasi terjadinya gangguan dapat mengalami kerusakan.
- c. Penurunan tegangan yang besar dapat mengakibatkan kualitas tenaga listrik yang cukup rendah sehingga mempengaruhi kerja peralatan listrik PLN maupun pelanggan.
- d. Stabilitas sistem menjadi menurun dan bahkan dapat menyebabkan jatuhnya performa generator.

Berdasarkan durasi atau lamanya gangguan terjadi, gangguan dapat dibagi menjadi gangguan permanen dan gangguan sementara/temporer.

2.5.1 Gangguan Permanen

Gangguan permanen merupakan sebuah gangguan yang diakibatkan oleh rusaknya peralatan sehingga gangguan ini baru akan hilang jika kerusakan pada peralatan itu telah diperbaiki. Selain itu gangguan ini juga dapat terjadi ketika terdapat gangguan yang mengganggu saluran secara permanen seperti ranting pohon yang menimpa kawat fasa pada saluran udara, maka ranting pohon ini harus ditebang terlebih dahulu agar tidak mengganggu kawat fasa dan sistem kembali berfungsi secara normal.

2.5.2 Gangguan Sementara/Temporer

Gangguan sementara/temporer merupakan sebuah gangguan yang terjadi dalam waktu yang singkat, kemudian gangguan hilang dan sistem kembali berfungsi secara normal. Namun, gangguan sementara yang terjadi berulang kali dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan.

2.6. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan dari kinerja suatu sistem atau sebagian sistem, agar dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem ini maka harus dilakukan pemeriksaan dengan menghitung atau menganalisa tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada periode tertentu kemudian dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan sebelumnya.

Terdapat tiga parameter utama dalam keandalan yang biasa digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi radial yaitu jumlah kegagalan rata-rata (λ_s), waktu pemadaman rata-rata (r_s), dan waktu pemadaman tahunan (U_s). Ketiga parameter ini digunakan untuk mencari nilai indeks keandalan sistem distribusi.

2.7. Indeks Keandalan Sistem Distribusi [1]

Indeks keandalan terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem sebagai sebuah indikator keandalan dalam memperoleh penilaian yang menyeluruh dari kinerja suatu sistem. Dua indeks keandalan yang paling umum dan sering digunakan adalah SAIFI dan SAIDI, kedua indeks ini digunakan untuk mengukur keandalan dari kinerja sistem tenaga listrik. Karakteristik dari kedua indeks ini adalah frekuensi dan durasi gangguan selama periode satu tahun pelaporan.

2.7.1 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Indeks SAIFI merupakan nilai rata-rata dari jumlah kegagalan yang terjadi pada tiap pelanggan atau beban yang dilayani oleh sistem tiap satu tahun. Nilai indeks SAIFI ini dapat dicari dengan cara menghitung pembagian antara jumlah semua kegagalan yang terjadi pada pelanggan atau beban dalam satu tahun terhadap jumlah pelanggan keseluruhan yang dilayani pada sistem tersebut dalam satu tahun. Persamaan untuk SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) ini dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$SAIFI = \frac{\text{jumlah pelanggan yang terganggu saat terjadi gangguan}}{\text{jumlah pelanggan yang dilayani}} \\ = \frac{\sum_{i \in B} I_i T_i}{T_{total}} \quad (2.1)$$

Dimana:

B = semua section dalam satu feeder

I_i = jumlah kegagalan per tahun (kegagalan/tahun)

T_i = jumlah pelanggan pada section i (pelanggan)

T_{total} = jumlah seluruh pelanggan dalam satu feeder (pelanggan)

2.7.2 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Indeks SAIDI merupakan nilai rata-rata dari lamanya durasi kegagalan pada tiap pelanggan atau beban yang dilayani oleh sistem tiap satu tahun. Nilai indeks SAIDI ini dapat ditentukan dengan cara menghitung total durasi dari lamanya kegagalan yang terjadi secara terus menerus untuk semua pelanggan atau beban selama periode waktu satu tahun dibagi dengan jumlah pelanggan atau beban keseluruhan yang

dilayani oleh sistem tersebut dalam satu tahun. Persamaan untuk SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) ini dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$SAIDI = \frac{\text{durasi gangguan tiap pelanggan}}{\text{jumlah pelanggan yang dilayani}} = \frac{\sum_{i \in B} U_i T_i}{T_{total}} \quad (2.2)$$

Dimana:

B = semua section dalam satu feeder

U_i = ketidak tersediaan komponen dalam satu tahun (jam/tahun)

T_i = jumlah pelanggan pada section i (pelanggan)

T_{total} = jumlah seluruh pelanggan dalam satu feeder (pelanggan)

Untuk mencari nilai I_i dan U_i , harus diketahui terlebih dahulu nilai laju kegagalan permanen (λ), laju kegagalan sementara (γ), dan waktu perbaikan (r) tiap section.

2.8. Pemodelan Jaringan Radial [3]

Pada sistem distribusi radial, para pelanggan di ujung jaringan akan memiliki keandalan yang paling rendah. Pada jaringan radial, kita dapat menganalisis keandalan menggunakan kombinasi hubungan seri dari tiap-tiap komponen. Sehingga ketika salah satu komponen yang di hubungkan seri antara penyulang listrik dan pelanggan mengalami kegagalan, maka pelanggan kehilangan dayanya.

Dalam sistem distribusi radial ini fungsi obyektif untuk melakukan perhitungan optimasi penempatan recloser dapat diturunkan dari fungsi untuk menghitung SAIFI pada persamaan (2.1). Pembilang dari persamaan (2.1) dapat ditulis menjadi :

$$\sum_{i \in B} \lambda_i \left[\sum_{j \in U_i} T_j Z_j \left(\prod_{k \in C_i^j} \overline{Z_k} \right) \right] + \sum_{i \in B} \gamma_i \left[\sum_{j \in U_i} T_j Y_j \left(\prod_{k \in C_i^j} \overline{Z_k} \right) \right] \quad (2.3)$$

Dimana :

B = himpunan dari semua section dalam satu feeder

T_j = jumlah pelanggan pada section j

λ_i = laju kegagalan permanen pada section i

γ_i = laju kegagalan sementara pada section i

U_i = himpunan dari semua section antara titik i dan d_i , termasuk kedua titik tersebut (i anggota himpunan B ; d_i adalah section pertama di upstream feeder dimana peralatan pengaman (CB) terpasang pada penyulang tersebut)

C_i^j = himpunan dari semua antara titik i dan j , termasuk i tapi tidak termasuk j (j adalah anggota himpunan U_i)

$X_j = \begin{cases} 1, & \text{jika recloser dipasang di } j \\ 0, & \text{yang lain} \end{cases}$

$Y_j = \begin{cases} 1, & \text{jika fuse dipasang di } j \\ 0, & \text{yang lain} \end{cases}$

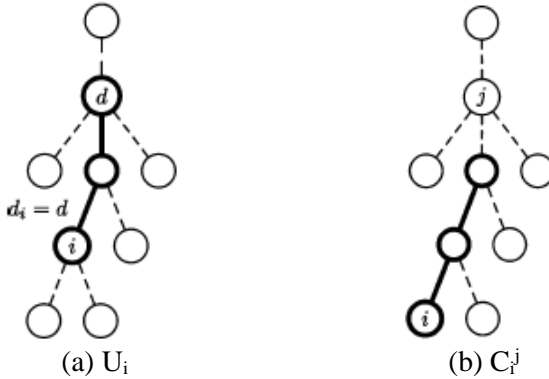
$Z_j = X_j + Y_j$

$\overline{X}_j = \begin{cases} 0, & \text{jika recloser dipasang di } j \\ 1, & \text{yang lain} \end{cases}$

$\overline{Y}_j = \begin{cases} 0, & \text{jika fuse dipasang di } j \\ 1, & \text{yang lain} \end{cases}$

$\overline{Z}_j = \overline{X}_j \overline{Y}_j$

Contoh dari komposisi himpunan U_i dan C_i^j dalam suatu jaringan distribusi radial dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ilustrasi komposisi himpunan U_i dan C_i^j . (a) U_i himpunan dari semua section antara titik i dan d_i , termasuk kedua titik tersebut. (b)

C_i^j himpunan dari semua antara titik i dan j , termasuk i tapi tidak termasuk j (j adalah anggota himpunan U_i)

Persamaan (2.3) dapat disederhanakan menjadi :

$$\sum_{i \in B} \left[\sum_{j \in U_i} T_j (\lambda_i Z_j + \gamma_i Y_j) \left(\prod_{k \in C_i^j} \overline{Z}_k \right) \right] \quad (2.4)$$

Kemudian variable bantuan X , Y , dan Z dapat diubah menjadi variable solusi. Didefinisikan variable solusi x_j dan y_j sebagai berikut :

$$x_j = \begin{cases} 0, & \text{jika recloser seharusnya dipasang di } j \\ 1, & \text{yang lain} \end{cases} \quad (2.5)$$

$$y_j = \begin{cases} 0, & \text{jika fuse seharusnya dipasang di } j \\ 1, & \text{yang lain} \end{cases} \quad (2.6)$$

Sehingga berdasarkan persamaan (2.5) dan (2.6) maka variable X_j , Y_j , dan Z_j beserta komplemennya dapat ditulis kembali sebagai :

$$X_j = 1 - x_j, \quad \overline{X_j} = x_j \quad (2.7)$$

$$Y_j = 1 - y_j, \quad \overline{Y_j} = y_j \quad (2.8)$$

$$Z_j = 2 - x_j - y_j, \quad \overline{Z_j} = x_j y_j \quad (2.9)$$

Berdasarkan persamaan (2.7), (2.8), dan (2.9) maka persamaan (2.4) sebagai pembilang dari fungsi perhitungan SAIFI dapat ditulis kembali sebagai:

$$\sum_{i \in B} \left\{ \sum_{j \in U_i} T_j [2\lambda_i + \gamma_i - \lambda_i x_j - (\lambda_i + \gamma_i) y_j] \left(\prod_{k \in C_i^j} x_k y_k \right) \right\} \quad (2.10)$$

Sedangkan pembilang dari fungsi perhitungan SAIDI dapat ditulis sebagai:

$$\sum_{i \in B} \left\{ \sum_{j \in U_i} T_j r_i [2\lambda_i + \gamma_i - \lambda_i x_j - (\lambda_i + \gamma_i) y_j] \left(\prod_{k \in C_i^j} x_k y_k \right) \right\} \quad (2.11)$$

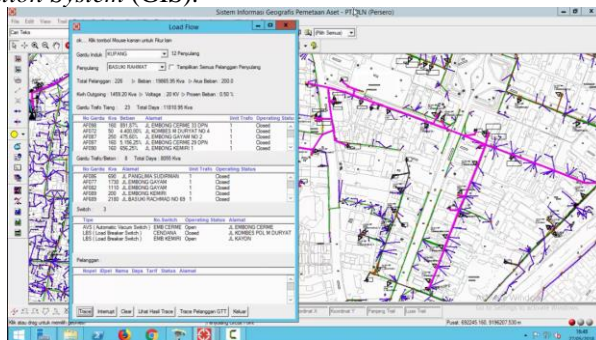
Dimana :

r_i = mean time to repair (MTTR) / waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki gangguan pada section i

2.9. *Geographic Information System (GIS)* [4]

Geographic Information System (GIS) merupakan sistem informasi berisi database yang berdasar pada sistem koordinat geografis. Perbedaan utama *Geographic Information System (GIS)* dan sistem database lain adalah semua informasi yang disediakan terhubung dengan referensi koordinat geografis. Informasi yang disediakan dalam *Geographic Information System (GIS)* dapat berupa data statis seperti informasi mengenai jaringan, transformer, beban, switchgear beserta lokasinya. Dalam penerapannya *Geographic Information System (GIS)* digunakan untuk memprediksi, merencanakan, memonitoring, membantu dalam mengambil keputusan, dan memberikan solusi dari suatu permasalahan dari sebuah obyek [4]. Dengan menggunakan *Geographic Information System (GIS)* pekerjaan akan jauh lebih praktis dan lebih cepat apabila dibandingkan dengan metode manual, hal ini dikarenakan pada sistem GIS terdapat database skala besar yang dapat diakses dan digunakan sebagai bahan untuk menganalisa. Berikut gambaran

mengenai penerapan *Geographic Information System* (GIS) pada sistem tenaga listrik, pada gambar berikut diberikan suatu pemodelan sistem tenaga listrik Kota Surabaya menggunakan tampilan *Geographic Information System* (GIS).



Gambar 2.14 Tampilan GIS Smallworld 12.3 General Electric PT. PLN

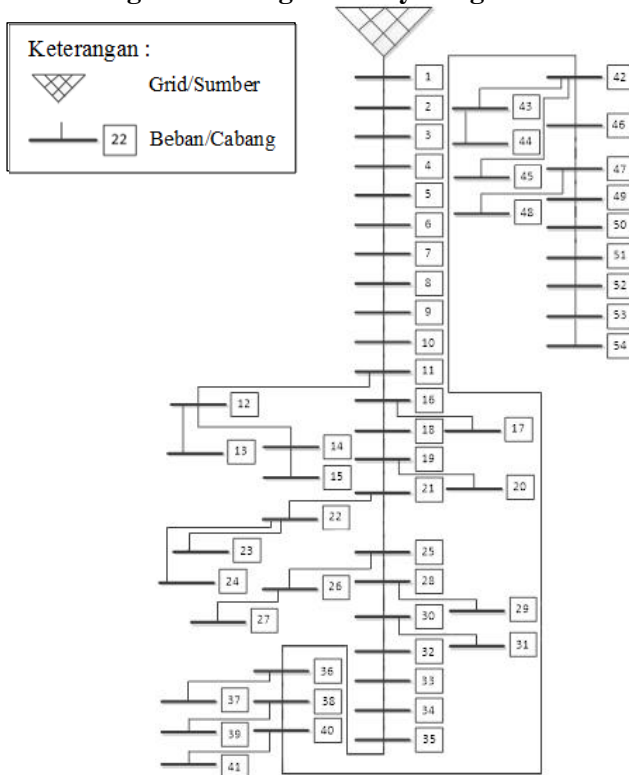
----Halaman ini sengaja dikosongkan----

BAB 3

PENINGKATAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

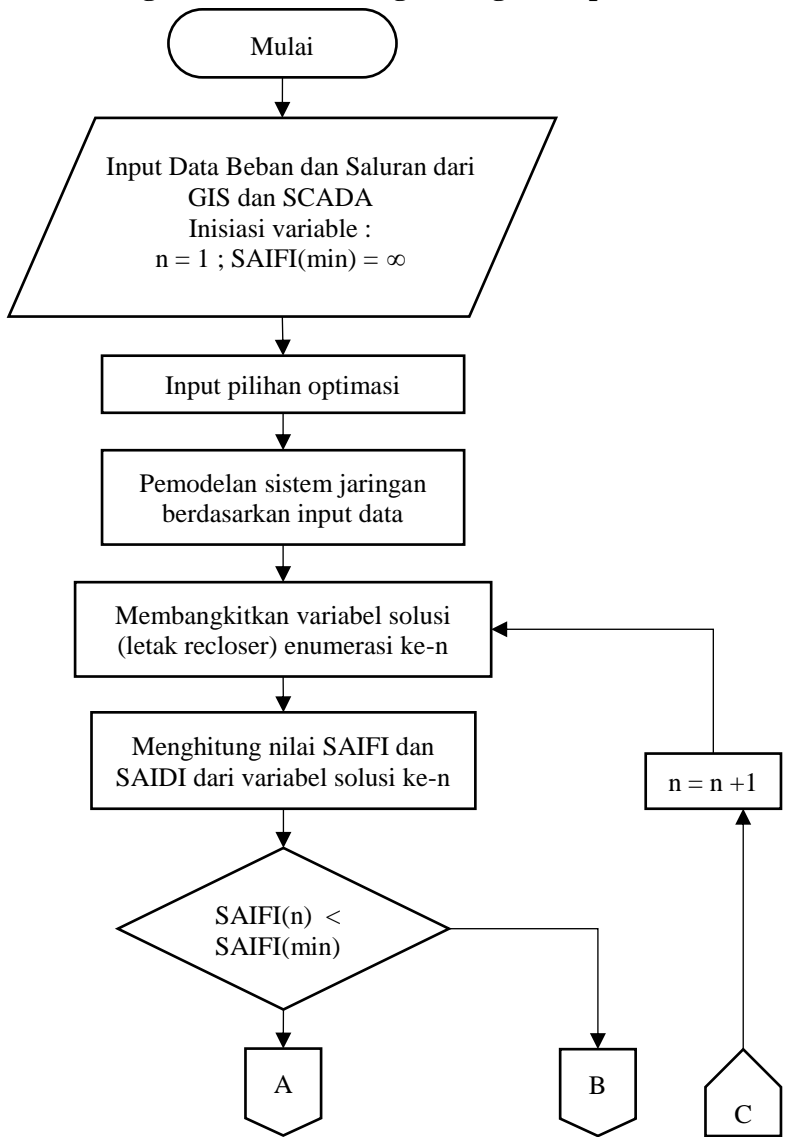
Keandalan sistem tenaga listrik yang telah dijelaskan pada BAB 2 dapat ditingkatkan salah satunya dengan menentukan letak recloser yang tepat sehingga menghasilkan nilai indeks keandalan yang optimum. Dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk meningkatkan indeks keandalan sistem Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang dengan menggunakan program berbasis GIS. Berikut merupakan gambaran single line diagram sistem dan diagram alir perancangan program :

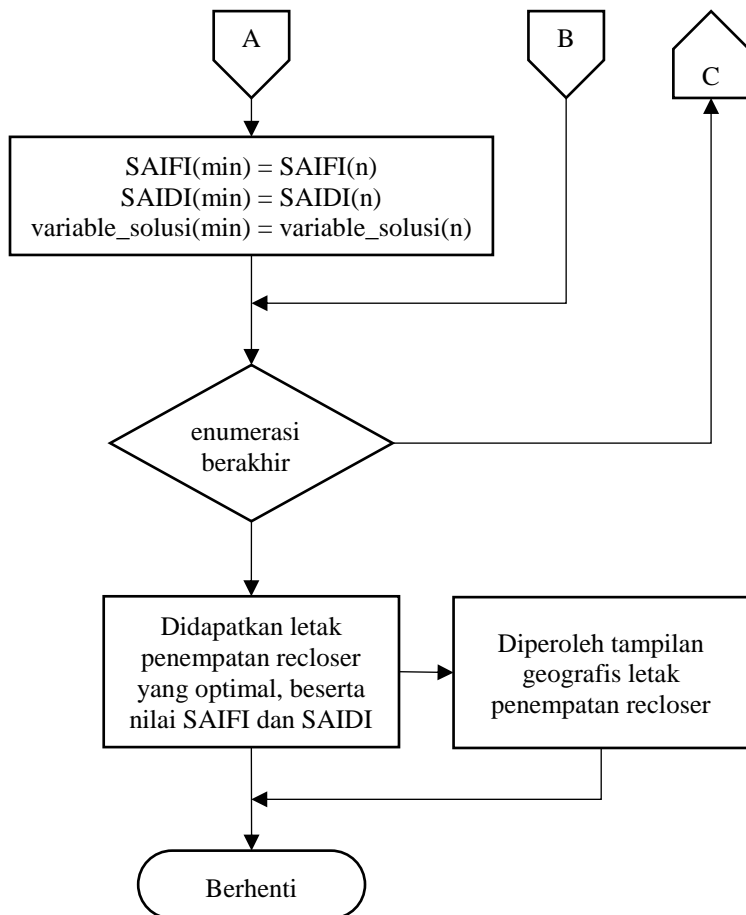
3.1 Single Line Diagram Penyulang Basuki Rahmat



Gambar 3.1 Single Line Diagram Penyulang Basuki Rahmat

3.2 Diagram Alir Perancangan Program Optimasi





Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Program

3.2.1 Input Data Beban dan Data Saluran

Pada tugas akhir ini digunakan data beban dan data saluran sistem distribusi penyulang Basuki Rahmat. Single line diagram penyulang Basuki Rahmat dapat dilihat di gambar 3.1. Sistem distribusi penyulang Basuki Rahmat ini dapat diakses pada *Geographic Information System* (GIS) dan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Pembuatan program akan diintegrasikan pula dengan *Geographic Information System* (GIS) dan *Supervisory Control and Data Acquisition*

(SCADA), sehingga data beban yang didapat dari SCADA serta data saluran yang didapat dari GIS akan terinput langsung menuju program untuk diteruskan ke tahap berikutnya. Hal ini membuat proses input data menjadi lebih cepat dan praktis mengingat sistem distribusi 20 kV PLN pada umumnya memiliki jumlah bus dan titik beban yang cukup banyak. Input data dari GIS membuat proses dan hasil optimasi penempatan recloser mendekati kenyataan karena didapatkan hasil lokasi yang sesuai dengan kondisi geografis dan lingkungan di sekitar penyulang.

Dalam tahap ini juga dilakukan inisiasi beberapa variabel seperti $n=1$ sebagai urutan enumerasi, $SAIFI(min)=\infty$, $SAIDI(min)=\infty$, dan $SAIFISAIIDI(min)=\infty$. Dimana $SAIFISAIIDI(min)$ merupakan nilai $SAIFI$ dan $SAIDI$ yang masing-masing memiliki bobot tertentu.

3.2.2 Input Pilihan Optimasi

Pada tahap ini user dapat menginput pilihan untuk mencari hasil optimal berdasarkan nilai $SAIFI$, $SAIDI$, atau keduanya dengan bobot tertentu. Untuk optimasi berdasarkan kedua nilai $SAIFI$ dan $SAIDI$ dilakukan pembobotan dengan skala 0-1 dalam satuan persen, sehingga nantinya akan didapat nilai $SAIFISAIIDI(n) = (SAIFI(n)*bobot_saifi) + (SAIDI(n)*bobot_saidi)$. Dimana bobotsaifi juga dapat diinput oleh user kemudian nantinya hasil penjumlahan bobotsaifi dan bobotsaidi sama dengan 1.

Di tahap ini user juga dapat menginput jumlah recloser yang ingin dipasang pada simulasi program optimasi, jumlah recloser ini nantinya akan menjadi batasan dalam enumerasi variabel solusi.

3.2.3 Pemodelan Sistem Jaringan

Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem jaringan distribusi Penyulang Basuki Rahmat agar dapat diproses dalam program nantinya. Penyulang Basuki Rahmat memiliki memiliki 41 trafo distribusi dengan total 54 bus. Kemudian dilakukan pemodelan sedemikian rupa hingga sistem memiliki section sebanyak jumlah trafo distribusinya, dimana tiap section memiliki nilai failure rate dan durasi kegagalan dari trafo distribusi dan saluran yang terdapat pada section tersebut. Nilai *failure rate* dan durasi kegagalan dari trafo distribusi, saluran, dan recloser diambil berdasarkan SPLN No. 59 Tahun 1985. Nilai indeks keandalan trafo distribusi, saluran, dan recloser berdasarkan SPLN No. 59 Tahun 1985 tentang Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV sebagai berikut [5] :

Tabel 3.1 Indeks Keandalan Peralatan Pada Sistem Distribusi

Peralatan	Failure Rate (λ)	Durasi Kegagalan
Trafo Distribusi	0.005 kali/unit/tahun	10 jam/tahun
Saluran Udara Tingkat Menengah (SUTM)	0.2 kali/km/tahun	4.41 jam/tahun
Saluran Kabel Tingkat Menengah (SKTM)	0.07 kali/km/tahun	16.41 jam/tahun
Recloser	0.005 kali/unit/tahun	10 jam/tahun

Nilai kegagalan recloser sebagai peralatan pengamanan akan berpengaruh pada *failure rate* pada section yang terdampak saat terjadi kegagalan pada trafo atau saluran terjadi. [1] *Failure rate* peralatan yang baru didapatkan dengan cara [11] :

$$\lambda = (\text{failure rate} \mid \text{pengaman beroperasi}) \times P(\text{pengaman beroperasi}) + (\text{failure rate} \mid \text{kegagalan peralatan}) \times P(\text{kegagalan pengamanan})$$

3.2.4 Membangkitkan Variabel Solusi Enumerasi ke-n

Pada tahap ini dilakukan metode enumerasi/pencacahan variabel solusi yang layak sesuai dengan batasan jumlah recloser yang ingin dipasang. Metode enumerasi sendiri merupakan metode analitik paling sederhana yang digunakan untuk mencari nilai optimal dari suatu permasalahan (fungsi obyektif). Prinsip utama dari metode enumerasi adalah dengan mengevaluasi semua kombinasi variable diskrit yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai solusi permasalahan (fungsi obyektif). Solusi optimal yang berupa nilai minimum akan didapatkan setelah menghitung semua solusi yang sesuai dengan batasan-batasan yang diinginkan.

Sistem distribusi Penyulang Basuki Rahmat memiliki total 41 trafo distribusi, yang artinya memiliki 41 section yang mewakili masing-masing trafo distribusi, sehingga terdapat 41 lokasi yang memungkinkan untuk diletakkan recloser. Berdasarkan pemodelan jaringan radial dalam menjadi sebuah fungsi obyektif yang telah dijelaskan pada BAB sebelumnya, dijelaskan bahwa $x = 1$ jika recloser tidak dipasang, dan $x = 0$ jika recloser dipasang pada section tersebut. Variabel solusi x akan

membentuk sebuah matriks yang memiliki 41 anggota. Jumlah variabel solusi x yang layak untuk dilakukan enumerasi dapat dihitung dengan memanfaatkan rumus kombinasi, yaitu kombinasi jumlah recloser dari jumlah section. Berikut adalah rumus perhitungan kombinasi :

$$\text{kombinasi } n \text{ dari } r = nCr = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (3.1)$$

Misalkan pada sistem distribusi penyulang basuki rahmat akan dipasang 2 recloser maka jumlah variabel solusi yang layak adalah sebesar kombinasi 2 dari 41 yaitu sebanyak 820 variabel solusi. 820 variabel solusi ini nantinya akan dibangkitkan satu-persatu mulai dari enumeasi ke-1 hingga enumerasi ke-820 yang nantinya pada tiap enumerasi, pada tahap-tahap berikutnya variable solusi akan dihitung dan dievaluasi nilai indeks keandalan yang didapat untuk mencari nilai optimum yang diinginkan.

3.2.5 Menghitung Nilai SAIFI dan SAIDI dari Variabel Solusi ke-n

Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem jaringan distribusi Penyulang Basuki Rahmat menjadi sebuah persamaan fungsi obyektif SAIFI dan SAIDI. Fungsi obyektif ini didapat dari persamaan (2.10) dan (2.11) pada BAB sebelumnya, namun dalam tugas akhir ini dibatasi hanya untuk penempatan recloser saja tanpa fuse. Oleh karena fuse tidak perlu dipasang, maka $y_j = 1$ dan pembilang fungsi obyektif SAIFI pada persamaan (2.10) berubah menjadi :

$$\sum_{i \in B} \left\{ \sum_{j \in U_i} T_j [\lambda_i - \lambda_i x_j] \left(\prod_{k \in C_i^j} x_k \right) \right\} \quad (3.2)$$

Sedangkan pembilang fungsi obyektif SAIDI pada persamaan (2.11) berubah menjadi :

$$\sum_{i \in B} \left\{ \sum_{j \in U_i} T_j t_i [\lambda_i - \lambda_i x_j] \left(\prod_{k \in C_i^j} x_k \right) \right\} \quad (3.3)$$

Dari kedua persamaan tersebut didapat fungsi obyektif SAIFI dan SAIDI untuk melakukan optimasi adalah sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{1}{T_{di}} \times \sum_{i \in B} \left\{ \sum_{j \in U_i} T_j [\lambda_i - \lambda_i x_j] \left(\prod_{k \in C_i^j} x_k \right) \right\} \quad (3.4)$$

$$SAIDI = \frac{1}{T_{di}} \times \sum_{i \in B} \left\{ \sum_{j \in U_i} T_j t_i [\lambda_i - \lambda_i x_j] \left(\prod_{k \in C_i^j} x_k \right) \right\} \quad (3.5)$$

Dimana :

T_{di} = jumlah pelanggan total sistem tersebut atau jumlah pelanggan pada section di (d_i adalah section pertama di upstream feeder dimana peralatan pengaman (CB) terpasang pada penyulang tersebut)

Persamaan ini akan menghasilkan output berupa nilai SAIFI enumerasi ke-n atau $\text{SAIFI}(n)$, SAIDI enumerasi ke-n atau $\text{SAIDI}(n)$, dan x yang merupakan variabel solusi enumerasi ke-n atau $\text{variabel_solusi}(n)$.

Dari hasil ini akan dilakukan koreksi terhadap nilai $\text{SAIFI}(n)$ atau $\text{SAIDI}(n)$ atau $\text{SAIFISAIIDI}(n)$ tergantung pilihan optimasi yang dipilih di tahap sebelumnya. Misal user memilih untuk melakukan optimasi terhadap nilai SAIFI, maka akan dikoreksi nilai $\text{SAIFI}(n) < \text{SAIFI}(\min)$. Jika benar maka $\text{SAIFI}(\min)$ berubah nilai menjadi $\text{SAIFI}(n)$, $\text{SAIDI}(\min)$ berubah nilai menjadi $\text{SAIDI}(n)$, dan $\text{variabel_solusi}(\min)$ berubah nilai menjadi $\text{variabel_solusi}(n)$, sedangkan jika salah maka $\text{SAIFI}(\min)$, $\text{SAIDI}(\min)$, dan $\text{variabel_solusi}(\min)$ tetap tidak berubah nilainya. Pada enumerasi pertama, $\text{SAIFI}(\min)$ pasti akan berubah nilai menjadi $\text{SAIFI}(n)$ karena $\text{SAIFI}(n)$ pasti kurang dari $\text{SAIFI}(\min)$ dimana $\text{SAIFI}(\min)$ masih merupakan nilai inisiasi sebesar tak hingga (∞).

Kemudian dilakukan koreksi kembali terhadap jumlah enumerasi yang telah dilakukan. Jika masih ada enumerasi berikutnya, maka kembali ke tahap membangkitkan variabel solusi enumerasi berikutnya dengan menambahkan nilai $n=n+1$. Namun jika telah mencapai enumerasi terakhir maka enumerasi berakhir, dan didapatkan hasil akhir berupa $\text{SAIFI}(\min)$, $\text{SAIDI}(\min)$, dan $\text{variabel_solusi}(\min)$ yang telah melalui berbagai koreksi dari enumerasi pertama sampai enumerasi terakhir, sehingga nilai-nilai tersebut merupakan solusi optimal dari permasalahan oleh user yang memilih optimasi berdasarkan nilai SAIFI. Program akan mengirim $\text{variabel_solusi}(\min)$ menuju database GIS untuk nantinya ditampilkan lokasi penempatan recloser secara nyata berbasis geografis berdasarkan hasil $\text{variabel_solusi}(\min)$ pada GIS.

Serangkaian tahapan tersebut juga berlaku ketika user memilih untuk melakukan optimasi berdasarkan nilai SAIDI sehingga koreksi yang dilakukan adalah $\text{SAIDI}(n) < \text{SAIDI}(\min)$. Atau jika user memilih untuk melakukan optimasi berdasarkan nilai SAIFI dan SAIDI sehingga koreksi yang dilakukan adalah $\text{SAIFISAIIDI}(n) < \text{SAIFISAIIDI}(\min)$, dimana untuk menghitung $\text{SAIFISAIIDI}(n)$ telah dijelaskan pada subbab 3.2.1 mengenai input pilihan optimasi.

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISA DATA

Simulasi dan analisa data ini dilakukan menggunakan program yang telah dirancang pada GNU Emacs 23.3 Smallworld 12.3 yang berbasis *Geographic Information System* (GIS). Simulasi dan analisa data pada laporan tugas akhir ini dilakukan dengan mencari lokasi penempatan recloser yang optimal berdasarkan nilai SAIFI paling minimum. Namun dalam program yang dirancang, lokasi penempatan recloser yang optimal dapat ditentukan juga berdasarkan nilai SAIDI paling minimum dan kedua nilai SAIFI dan SAIDI yang masing-masing diberi pembobotan.

4.1 Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum Dilakukan Optimasi Pada Program Berbasis GIS dan Perhitungan Manual Menggunakan Excel

4.1.1 Indeks Keandalan Hasil Optimasi Program Berbasis GIS

Berdasarkan perhitungan indeks kegagalan dengan kondisi tanpa recloser (pengaman sistem hanya CB yang berada di upstream feeder) yang dilakukan pada program berbasis GIS yang telah dirancang sebelumnya, didapatkan nilai SAIFI sebesar 0.5934 kali/tahun dan SAIDI sebesar 4.034 jam/tahun.

4.1.2 Indeks Keandalan Perhitungan Manual Menggunakan Excel

Berikut merupakan tabel beban dan saluran hasil perhitungan manual menggunakan excel. Bus yang tidak terhubung secara langsung dengan trafo merupakan bus cabang sehingga jumlah pelanggan pada bus tersebut sama dengan 0. U(jam/tahun) didapatkan dengan mengalikan laju kegagalan dan durasi kegagalan. Nilai SAIFI tiap beban didapatkan dengan mengalikan laju kegagalan dengan jumlah pelanggan total yang terdampak akibat kegagalan. Nilai SAIDI tiap beban didapatkan dengan mengalikan U (jam/tahun) dengan jumlah pelanggan total yang terdampak akibat kegagalan. Dikarenakan kondisi tanpa recloser dengan hanya memanfaatkan CB yang terletak pada upstream feeder sebagai pengaman, maka kegagalan pada bus/trafo manapun akan mengakibatkan seluruh sistem akan mati, dengan kata lain semua pelanggan pada sistem sebesar 664 pelanggan akan terdampak. Berikut adalah tabel hasil perhitungan data beban sistem Penyulang Basuki Rahmat tanpa recloser menggunakan excel :

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Data Beban

Bus	Trafo	Jumlah Pelanggan	Failure Rate (kali /tahun)	Repair Time (jam /tahun)	U (jam /tahun)	Nilai SAIIFI (kali /tahun)	Nilai SAIDI (jam /tahun)
1	AF101	27	0.005	10	0.05	3.32	33.2
2	AF102	254	0.005	10	0.05	3.32	33.2
3	AF103	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
4	AF104	12	0.005	10	0.05	3.32	33.2
5	AF105	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
6	AF106	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
7	AF123	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
8	AF124	27	0.005	10	0.05	3.32	33.2
9	AF072	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
10	AF132	30	0.005	10	0.05	3.32	33.2
11		0					
12		0					
13	AF074	92	0.005	10	0.05	3.32	33.2
14	AF704	37	0.005	10	0.05	3.32	33.2
15	AF073	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
16		0			0		
17	AF682	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
18	AF660	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
19		0					
20	AF077	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
21		0					
22		0					
23	AF078	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
24	AF669	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Data Beban (lanjutan)

Bus	Trafo	Jumlah Pelanggan	Failure Rate (kali /tahun)	Repair Time (jam /tahun)	U (jam /tahun)	Nilai SAIFI (kali /tahun)	Nilai SAIDI (jam /tahun)
25		0					
26	AF079	12	0.005	10	0.05	3.32	33.2
27	AF080	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
28		0					
29	AF747	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
30		0					
31	AF689	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
32	AF081	10	0.005	10	0.05	3.32	33.2
33	AF082	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
34	AF084	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
35	AF085	16	0.005	10	0.05	3.32	33.2
36		0					
37	AF087	9	0.005	10	0.05	3.32	33.2
38		0					
39	AF088	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
40		0					
41	AF086	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
42	AF089	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
43	AF090	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
44	AF091	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
45	AF092	44	0.005	10	0.05	3.32	33.2
46	AF094	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
47		0					
48	AF095	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Data Beban (lanjutan)

Bus	Trafo	Jumlah Pelanggan	Failure Rate (kali /tahun)	Repair Time (jam /tahun)	U (jam /tahun)	Nilai SAIFI (kali /tahun)	Nilai SAIDI (jam /tahun)
50	AF096	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
51	AF097	2	0.005	10	0.05	3.32	33.2
52	AF098	11	0.005	10	0.05	3.32	33.2
53	AF099	55	0.005	10	0.05	3.32	33.2
54	AF100	1	0.005	10	0.05	3.32	33.2
Total :						136.12	1361.2

Berikut dibawah ini adalah tabel hasil perhitungan data saluran sistem Penyulang Basuki Rahmat tanpa recloser menggunakan excel dimana yang dimaksud dengan saluran type 1 adalah saluran udara tingkat menengah (SUTM) dan type 2 merupakan saluran kabel tingkat menengah (SKTM) :

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Data Saluran

From Bus	To Bus	Type	Length (m)	Failure Rate (kali /tahun)	Repair Time (jam /tahun)	U (jam /tahun)	Nilai SAIFI tiap saluran	Nilai SAIDI tiap saluran
1	2	1	149.36	0.02987	4.41	0.13174	19.83501	87.47239
2	3	1	0.876	0.00017	4.41	0.00077	0.11633	0.51303
3	4	1	19.61	0.00392	4.41	0.01730	2.60421	11.48456
4	5	1	13.81	0.00276	4.41	0.01218	1.83397	8.08780
5	6	1	20.96	0.00419	4.41	0.01849	2.78349	12.27518
6	7	1	76.18	0.01524	4.41	0.06719	10.11670	44.61466
7	8	1	94.83	0.01897	4.41	0.08364	12.59342	55.53700
8	9	1	130.8	0.02616	4.41	0.11537	17.37024	76.60276
9	10	1	23.67	0.00473	4.41	0.02088	3.14338	13.86229
10	11	1	66.34	0.01327	4.41	0.05851	8.80995	38.85189
11	12	1	69.78	0.01396	4.41	0.06155	9.26678	40.86652

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Data Saluran (lanjutan)

From Bus	To Bus	Type	Length (m)	Failure Rate (kali /tahun)	Repair Time (jam /tahun)	U (jam /tahun)	Nilai SAIFI tiap saluran	Nilai SAIDI tiap saluran
12	13	1	8.096	0.00162	4.41	0.00714	1.07515	4.74141
12	14	1	24.91	0.00498	4.41	0.02197	3.30805	14.58849
14	15	1	59.02	0.01180	4.41	0.05206	7.83786	34.56494
11	16	1	47.06	0.00941	4.41	0.04151	6.24957	27.56059
16	17	1	38.73	0.00775	4.41	0.03416	5.14334	22.68215
16	18	1	44.46	0.00889	4.41	0.03921	5.90429	26.03791
18	19	1	69.53	0.01391	4.41	0.06133	9.23358	40.72011
19	20	1	23.87	0.00477	4.41	0.02105	3.16994	13.97942
19	21	1	24.64	0.00493	4.41	0.02173	3.27219	14.43037
21	22	1	21.92	0.00438	4.41	0.01933	2.91098	12.83740
22	23	1	9.899	0.00198	4.41	0.00873	1.31459	5.79733
22	24	1	13.45	0.00269	4.41	0.01186	1.78616	7.87697
21	25	1	54.59	0.01092	4.41	0.04815	7.24955	31.97052
25	26	1	6.675	0.00133	4.41	0.00589	0.88644	3.90920
26	27	1	7.345	0.00147	4.41	0.00648	0.97542	4.30158
25	28	1	31.36	0.00627	4.41	0.02766	4.16461	18.36592
28	29	1	29.67	0.00593	4.41	0.02617	3.94018	17.37618
28	30	2	60.41	0.00423	16.41	0.06939	2.80786	46.07693
30	31	2	51.45	0.00360	16.41	0.05910	2.39140	39.24281
30	32	1	22.18	0.00444	4.41	0.01956	2.94550	12.98967
32	33	2	39.47	0.00276	16.41	0.04534	1.83457	30.10522
33	34	1	38.815	0.00776	4.41	0.03423	5.15463	22.73193
34	35	1	90.44	0.01809	4.41	0.07977	12.01043	52.96601
35	36	1	18.119	0.00362	4.41	0.01598	2.40620	10.61136

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Data Saluran

From Bus	To Bus	Type	Length (m)	Failure Rate (kali /tahun)	Repair Time (jam /tahun)	U (jam /tahun)	Nilai SAIFI tiap saluran	Nilai SAIDI tiap saluran
36	37	1	19.29	0.00386	4.41	0.01701	2.56171	11.29715
36	38	1	31.78	0.00636	4.41	0.02803	4.22038	18.61189
38	39	1	19.26	0.00385	4.41	0.01699	2.55773	11.27958
38	40	1	43.51	0.00870	4.41	0.03838	5.77813	25.48154
40	41	1	23.83	0.00477	4.41	0.02102	3.16462	13.95599
40	42	2	67.71	0.00474	16.41	0.07778	3.14716	51.64491
42	43	1	17.84	0.00357	4.41	0.01573	2.36915	10.44796
43	44	1	6.86	0.00137	4.41	0.00605	0.91101	4.01755
42	45	1	64.82	0.01296	4.41	0.05717	8.60810	37.96170
42	46	2	44.7	0.00313	16.41	0.05135	2.07766	34.09433
46	47	1	75.36	0.01507	4.41	0.06647	10.00781	44.13443
47	48	1	12.47	0.00249	4.41	0.01100	1.65602	7.30303
47	49	2	59.33	0.00415	16.41	0.06815	2.75766	45.25317
49	50	1	8.863	0.00177	4.41	0.00782	1.17701	5.19060
50	51	1	51.9	0.01038	4.41	0.04578	6.89232	30.39513
51	52	1	22.15	0.00443	4.41	0.01954	2.94152	12.97210
52	53	1	43.54	0.00871	4.41	0.03840	5.78211	25.49911
53	54	1	36.36	0.00727	4.41	0.03207	4.82861	21.29416
Total :							257.884	1317.466

Berdasarkan hasil perhitungan data beban dan data saluran diatas, maka dapat dihitung SAIFI dan SAIDI sistem sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SAIFI &= \frac{SAIFI \text{ data beban} + SAIFI \text{ data saluran}}{\text{jumlah total pelanggan yang dilayani sistem}} \\
 &= \frac{136.12 + 257.884}{664} = 0.593381
 \end{aligned}$$

$$SAIDI = \frac{SAIDI \text{ data beban} + SAIDI \text{ data saluran}}{\text{jumlah total pelanggan yang dilayani sistem}} \\ = \frac{1361.2 + 1317.466}{664} = 4.034137$$

Dapat dilihat bahwa perhitungan menggunakan program berbasis GIS yang telah dirancang sebelumnya mendapatkan hasil nilai indeks keandalan yang sama dengan perhitungan manual menggunakan excel. Oleh karena itu, program ini dipastikan dapat digunakan untuk menghitung nilai indeks keandalan sistem distribusi dimanapun recloser akan diletakkan sehingga dapat dicari dimana lokasi optimal recloser agar menghasilkan nilai SAIFI dan SAIDI yang optimum.

4.2 Hasil Optimasi Penempatan Recloser Sistem Penyulang Basuki Rahmat Berbasis GIS

Simulasi optimasi penempatan recloser sistem Penyulang Basuki Rahmat pada program berbasis GIS dilakukan pada 3 kondisi, yaitu dengan menempatkan 1 recloser, 2 recloser, dan 3 recloser. Namun diluar ketiga kondisi tersebut, program juga dapat memproses optimasi penempatan recloser berapapun recloser yang akan dipasang pada sistem.

4.2.1 Hasil Optimasi Penempatan 1 Recloser

Berikut adalah hasil simulasi program optimasi penempatan 1 buah recloser berbasis GIS pada sistem distribusi Penyulang Basuki Rahmat:

Tabel 4.7 Hasil Optimasi Penempatan 1 Recloser

Recloser ke-	Section	Trafo Beban	Bus	Lokasi Geografis
1	15	AF660	18	JL. KOMBES M DURYAT
SAIFI : 0.3416 kali/tahun SAIDI : 2.177 jam/tahun				

Berdasarkan hasil optimasi didapatkan sistem akan menghasilkan nilai SAIFI optimal jika recloser ditempatkan pada section 15 yang mewakili trafo beban AF660 tepatnya pada bus 18 yang terletak di Jl. Kombes M Duryat. Jika recloser ditempatkan pada lokasi tersebut, akan dihasilkan nilai SAIFI sebesar 0.3416 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 2.177 jam/tahun.

4.2.2 Hasil Optimasi Penempatan 2 Recloser

Berikut adalah hasil simulasi program optimasi penempatan 2 buah recloser berbasis GIS pada sistem distribusi Penyulang Basuki Rahmat:

Tabel 4.8 Hasil Optimasi Penempatan 2 Recloser

Recloser ke-	Section	Trafo Beban	Bus	Lokasi Geografis
1	3	AF103	3	JL. KEDUNG SARI
2	15	AF660	18	JL. KOMBES M DURYAT
SAIFI : 0.2535 kali/tahun SAIDI : 1.645 jam/tahun				

Berdasarkan hasil optimasi didapatkan sistem akan menghasilkan nilai SAIFI optimal jika recloser ditempatkan pada section 3 yang mewakili trafo beban AF103 tepatnya pada bus 3 yang terletak di Jl. Kedung Sari dan pada section 15 yang mewakili trafo beban AF660 tepatnya pada bus 18 yang terletak di Jl. Kombes M Duryat. Jika recloser ditempatkan pada kedua lokasi tersebut, akan dihasilkan nilai SAIFI sebesar 0.2535 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 1.645 jam/tahun.

4.2.3 Hasil Optimasi Penempatan 3 Recloser

Berikut adalah hasil simulasi program optimasi penempatan 1 buah recloser berbasis GIS pada sistem distribusi Penyulang Basuki Rahmat:

Tabel 4.9 Hasil Optimasi Penempatan 3 Recloser

Recloser ke-	Section	Trafo Beban	Bus	Lokasi Geografis
1	3	AF103	3	JL. KEDUNG SARI
2	15	AF660	18	JL. KOMBES M DURYAT
3	34	AF094	46	JL. EMBONG CERME 1 DPN
SAIFI : 0.2385 kali/tahun SAIDI : 1.535 jam/tahun				

Berdasarkan hasil optimasi didapatkan sistem akan menghasilkan nilai SAIFI optimal jika recloser ditempatkan pada section 3 yang mewakili trafo beban AF103 tepatnya pada bus 3 yang terletak di Jl.

Kedung Sari, pada section 15 yang mewakili trafo beban AF660 tepatnya pada bus 18 yang terletak di Jl. Kombes M Duryat, dan pada section 34 yang mewakili trafo beban AF094 tepatnya pada bus 46 yang terletak di Jl. Embong Cerme. Jika recloser ditempatkan pada ketiga lokasi tersebut, akan dihasilkan nilai SAIFI sebesar 0.2385 kali/tahun dan nilai SAIDI sebesar 1.535 jam/tahun.

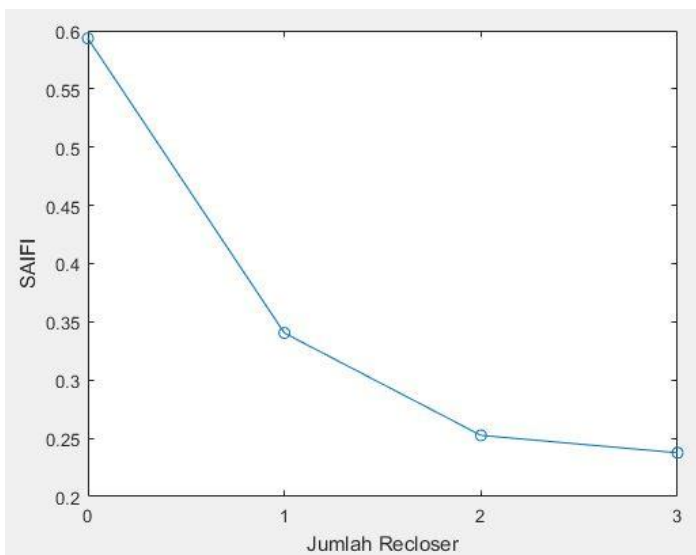
4.3 Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum Dilakukan Optimasi dan Setelah Dilakukan Optimasi Penempatan 1, 2, dan 3 Recloser

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan pada sistem sebelum dilakukan optimasi, dan setelah dilakukan optimasi, didapatkan hasil nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI sistem berubah-ubah. Berikut perbandingan nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI sebelum dan sesudah dilakukan optimasi :

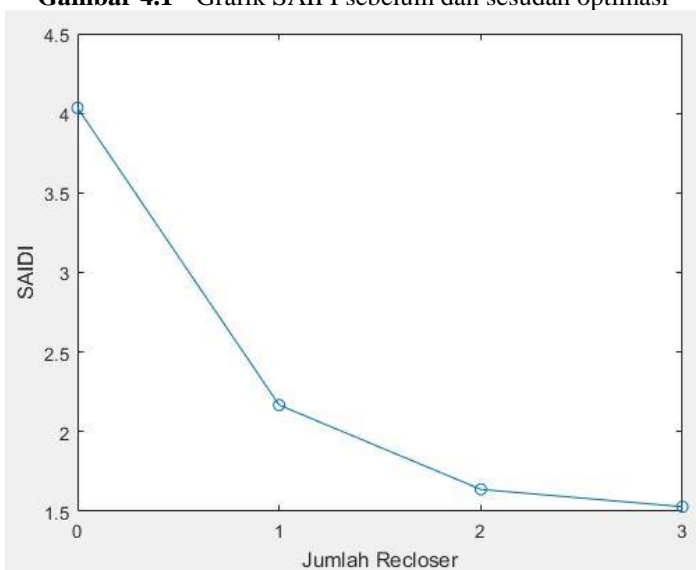
Tabel 4.10 Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum dan Sesudah Optimasi

	Jumlah recloser yang dipasang	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)
Sebelum	0	0.5934	4.034
Sesudah	1	0.3416	2.177
	2	0.2535	1.645
	3	0.2385	1.535

Dapat dilihat hasil simulasi pada tabel 4.10 dan grafik pada gambar 4.1 dan 4.2 didapatkan nilai SAIFI dan SAIDI berkurang seiring dengan penambahan jumlah recloser, atau dengan kata lain keandalan sistem penyulang Basuki Rahmat meningkat seiring dengan penambahan jumlah recloser yang dipasang pada sistem. Lokasi penambahan recloser juga tidak sembarang ditempatkan, namun sesuai hasil optimasi yang dilakukan sehingga didapatkan nilai indeks keandalan yang paling minimum.



Gambar 4.1 Grafik SAIFI sebelum dan sesudah optimasi



Gambar 4.2 Grafik SAIDI sebelum dan sesudah optimasi

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah didapatkan pada penelitian tugas akhir ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Dalam analisa penentuan penempatan lokasi recloser yang optimal untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi radial, dapat dilakukan dengan metode analitis dengan mengenumerasi tiap kombinasi kemungkinan lokasi untuk mencari nilai fungsi obyektif indeks keandalan yang optimal.
- Pada sistem distribusi radial Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang, apabila menggunakan 1 buah recloser maka didapatkan indeks keandalan optimal saat recloser ditempatkan pada bus 18 trafo beban AF660 dengan nilai SAIFI berkurang dari 0.5934 kali/tahun menjadi 0.3416 kali/tahun dan nilai SAIDI juga berkurang dari 4.034 jam/tahun menjadi 2.177 jam/tahun
- Pada sistem distribusi radial Penyulang Basuki Rahmat Gardu Induk Kupang juga didapatkan nilai SAIFI dan SAIDI yang semakin berkurang apabila dilakukan optimasi penempatan recloser dengan menambahkan jumlah recloser yang dipasang.
- Hasil analisa penentuan penempatan lokasi recloser pada program berbasis GIS juga dapat menunjukkan letak geografis dimana recloser seharusnya dipasang, seperti contohnya jika menggunakan 1 recloser maka lokasi yang optimal pada bus 18 trafo beban AF660 di Jl. Kombes M Duryat.
- Persebaran jumlah pelanggan dan jarak masing-masing trafo distribusi menjadi faktor utama yang mempengaruhi hasil analisa lokasi penempatan recloser yang optimal.

5.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki dan mengembangkan topik penelitian pada tugas akhir ini :

- Menggunakan data historis sebagai input data indeks keandalan trafo distribusi untuk memperbaiki nilai keandalan sistem *existing*.
- Mengembangkan penelitian dengan menambahkan metode untuk penentuan setting recloser yang akan ditempatkan pada sistem.
- Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini hanya dapat diterapkan pada sistem jaringan radial, sehingga perlu dikembangkan untuk sistem jaringan lainnya seperti tie-line, loop, spindel, dan kluster.

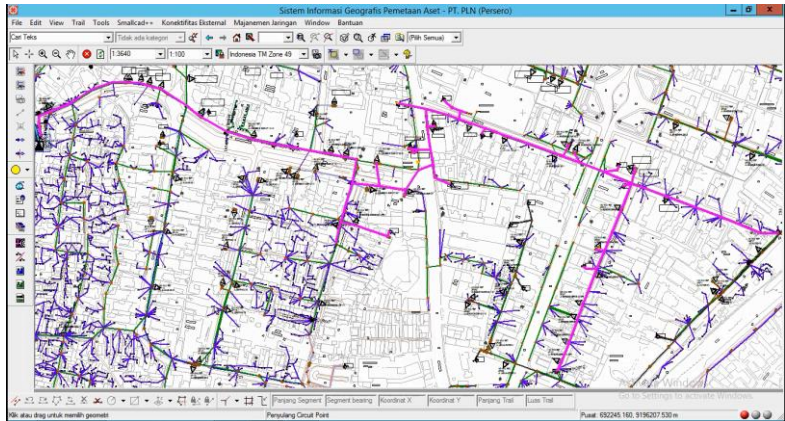
DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Power Engineering Society, Transmission and Distribution Subcommittee, IEEE-SA Standards Board, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. New York, N.Y.: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.
- [2] J. M. Gers and E. J. Holmes, *Protection of electricity distribution networks*, 2nd ed., vol. 47. London, United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology, 2004.
- [3] E. Zambon, Dé. Z. Bossois, B. B. Garcia, and E. F. Azeredo, "A Novel Nonlinear Programming Model for Distribution Protection Optimization," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 24, no. 4, pp. 1951–1958, Oct. 2009.
- [4] G. Derakhshan, K. R. Milani, A. Etemadi, H. Shayanfar, and U. Sarafraz, "Management and Operation of Electricity Distribution Networks on Geographic information system platform," 2013.
- [5] SPLN 59 : 1985. "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV," Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [6] N. Moelyono, "Pengantar Sistem Distribusi Tegangan Listrik," Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1999.
- [7] G. S. Rahmat, "Evaluasi Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 KV di Surabaya Menggunakan Loop Restoration Scheme," Bachelor, Electrical Engineering, Institut Sepuluh Nopember, 2013.
- [8] S. K. Sari, "Analisis Keandalan Distribusi 20 kV di Wilayah Tegal," Bachelor, Electrical Engineering, Institut Sepuluh Nopember, 2012.
- [9] A. Jajszczyk and R. Wojcik, "The Enumeration Method for Selecting Optimum Switching Network Structures," in *IEEE Communications Letters*, vol. 9, no. 1, pp. 64-65, Jan. 2005.
- [10] T. V. Tran, S. Brisset, and P. Brochet, "Exhaustive Enumeration Method," L2EP - Ecole Centrale de Lille - France, 2007.
- [11] D. L. Johnston and B. K. Johnson, "Comparison of Reliability Indices with the Effect of Protection Failure for an Electrical to Hydrogen Distribution System," *41st North American Power Symposium*, Starkville, MS, USA, 2009, pp. 1-5.

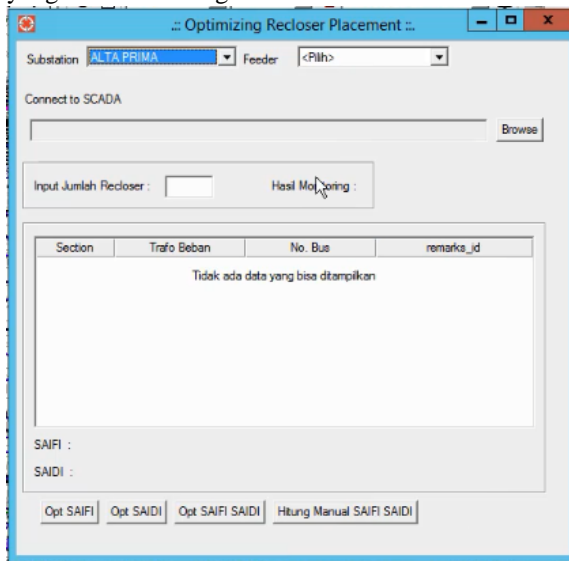
---Halaman ini sengaja dikosongkan---

LAMPIRAN

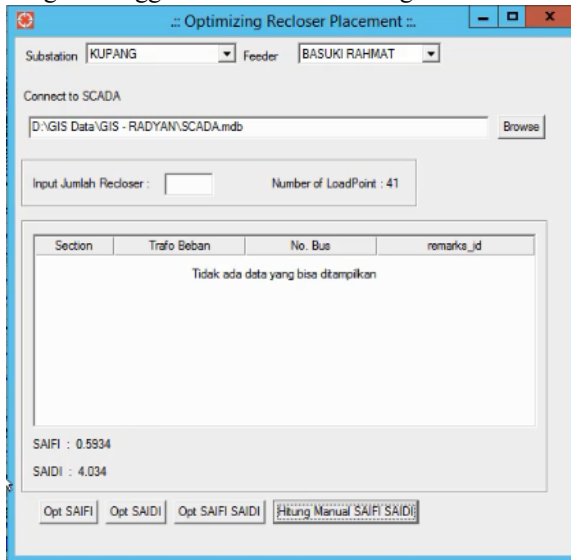
1. Penyulang Basuki Rahmat dalam program GIS Smallworld 12.3
General Electric PT. PLN



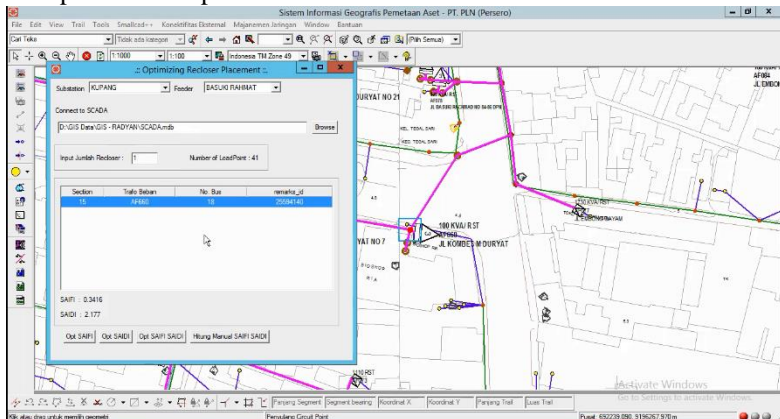
2. Graphical User Interface program “Optimizing Recloser Placement” yang telah dirancang dalam GIS



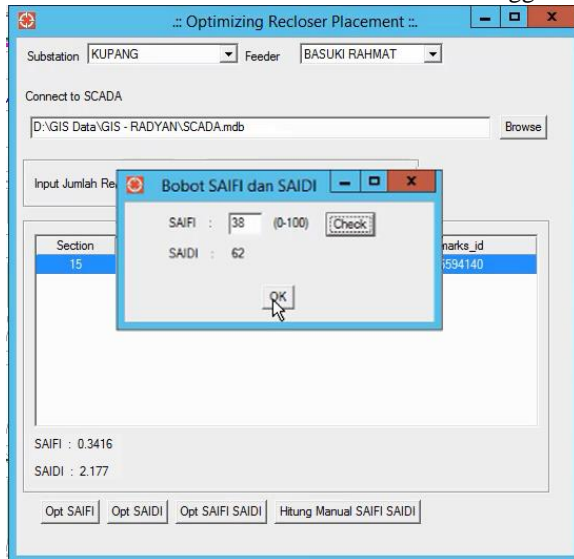
- Hasil perhitungan SAIFI dan SAIDI sebelum dilakukan optimasi dengan menggunakan tombol “Hitung Manual SAIFI dan SAIDI”



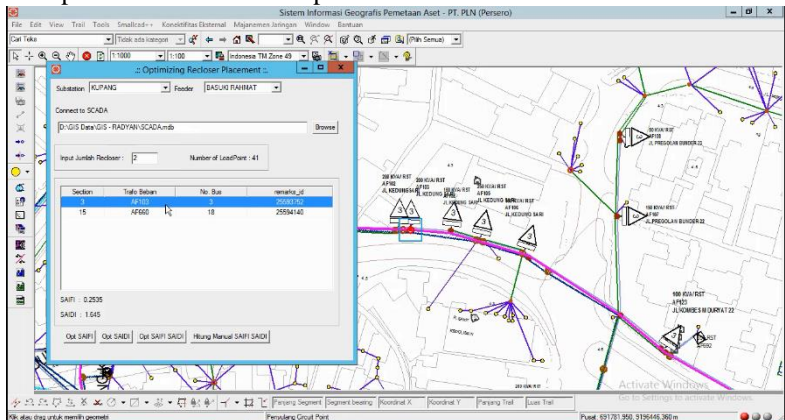
- Hasil perhitungan optimasi berdasarkan nilai SAIFI dengan menggunakan 1 buah recloser beserta lokasi geografis bus 18 yang merupakan hasil optimasi



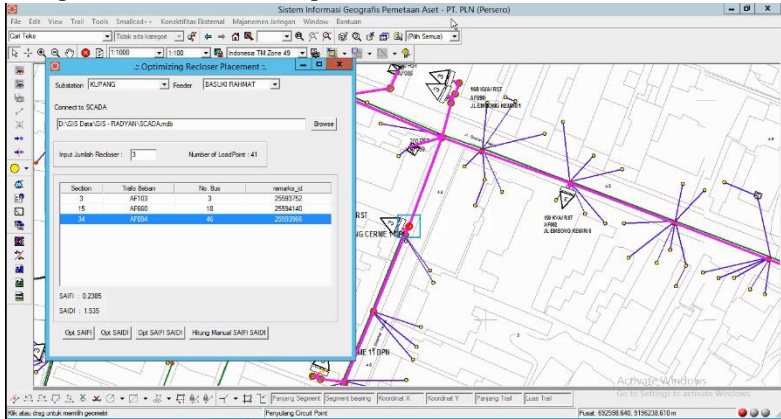
- Graphical User Interface input pembobotan dalam optimasi berdasarkan kedua nilai SAIFI dan SAIDI menggunakan 1 recloser



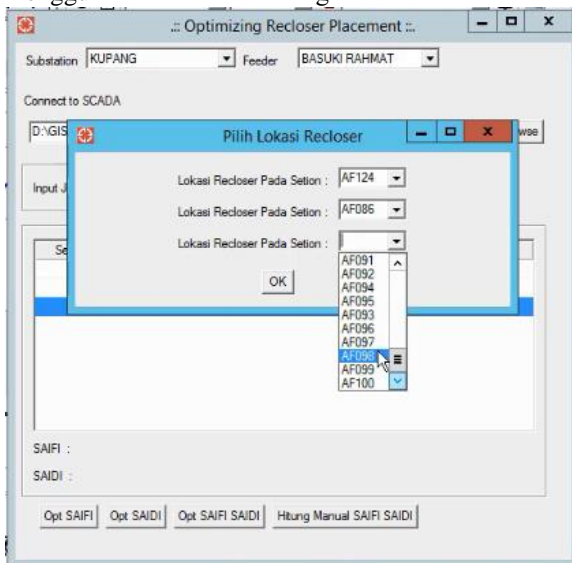
- Hasil perhitungan optimasi berdasarkan nilai SAIFI dengan menggunakan 2 buah recloser beserta lokasi geografis bus 3 yang merupakan salah satu hasil optimasi



7. Hasil perhitungan optimasi berdasarkan nilai SAIFI dengan menggunakan 3 buah recloser beserta lokasi geografis bus 46 yang merupakan salah satu hasil optimasi



8. Graphical User Interface saat user bebas menempatkan recloser menggunakan tombol “Hitung Manual SAIFI SAIDI”



9. Hasil perhitungan nilai SAIFI dan SAIDI dengan user bebas menempatkan recloser

Optimizing Recloser Placement

Substation: KUPANG Feeder: BASUKI RAHMAT

Connect to SCADA
D:\GIS Data\GIS - RADYAN\SCADA.mdb Browse

Input Jumlah Recloser: 3 Number of LoadPoint: 41

Section	Trafo Beban	No. Bus	remarks_id
8	AF124	8	25594077
29	AF086	41	25593906
39	AF098	52	25594015

SAIFI : 0.3615
SAIDI : 2.414

Opt SAIFI Opt SAIDI Opt SAIFI SAIDI Hitung Manual SAIFI SAIDI

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BIODATA PENULIS



Radyan Pradipta Fanindya lahir di Kota Probolinggo pada tanggal 13 September 1995. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Sukabumi 2 Kota Probolinggo pada tahun 2002-2008. Setelah itu melanjutkan ke sekolah menengah pertama di SMPN 1 Kota Probolinggo pada tahun 2008-2011 dan melanjutkan ke jenjang sekolah menengah atas di SMAN 1 Kota Probolinggo pada tahun 2011-2014. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Bidang keahlian yang diambil penulis yaitu teknik sistem tenaga. Penulis aktif dalam kegiatan keorganisasian di dalam kampus. Penulis merupakan Staff Departemen Hubungan Luar BEM FTI-ITS 2015/2016, kemudian dilanjutkan menjadi Kepala Departemen Hubungan Luar BEM FTI-ITS 2016/2017. Penulis dapat dihubungi melalui nomor 082336267361 atau melalui email radyanpf@gmail.com.

----Halaman ini sengaja dikosongkan----